

Problemática de la calidad del agua que abastece a la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe

FRANCISCO AGUILAR ORTEGA*

Actualmente se extrae agua del acuífero Guadalupe Bañuelos para abastecer la zona conurbada de Zacatecas y Guadalupe, y también los pueblos ubicados al sur de ésta, a pesar de que contiene concentraciones de flúor, arsénico y otros metales pesados por encima de los valores máximos permitidos por la ley. El mismo acuífero se explota para fines agrícolas. Con todo, se encuentra sobreexplotado y conforme bajan los niveles piezométricos se empeora la calidad del agua.

Introducción

El funcionamiento de los acuíferos fue motivo de innumerables teorías que datan desde los griegos, quienes creían, por ejemplo, que los manantiales que daban lugar al nacimiento de los escurrimientos superficiales tenían conexión con ríos o lagos subterráneos alimentados por los océanos. Los antiguos griegos, sin embargo, no podían explicar la pérdida de sales de agua marina, ni como podían las aguas de dichos mares subir hasta la altura de los manantiales en las montañas. Otras teorías involucraban a las fuerzas del viento que presionaban al agua a introducirse en las rocas, para emerger después como manantiales. Entre las teorías romanas destaca la de Marco Vitruvio, quien explicaba que la nieve derretida de las montañas se colaba hacia el subsuelo y aparecía a menores elevaciones en forma de manantiales.¹

*Docente investigador, Unidad Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Zacatecas

¹ Stanley Nelson Davis y Roger J.M. DeWiest, *Hydrogeology*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1966.

Es hasta el Renacimiento cuando Leonardo da Vinci describe esta teoría con toda propiedad. El agua se ve como la expansión y el humor de todos los cuerpos vitales. Sin ella, nada conserva su forma. Por su introducción, une y engruesa los cuerpos. Adquiere cualquier olor, color y sabor, pero en sí no tiene ninguno.² El agua es a veces mañosa, otras fuerte; a veces ácida, amarga, dulce, espesa o delgada; a veces se la ve trayendo salud, otras avería, pestilencia o veneno. Así podría decirse que adquiere otras tantas naturalezas según sean los sitios por los cuales pasa; como que el espejo cambia con el color de sus objetos, de tal manera que varía con la naturaleza del lugar por el cual transita saludable, nociva, laxante, astringente, sulfurosa, salina, sanguínea, deprimida, enfurecida, roja, verde, negra, azul, untuosa, espesa, delgada.³

² Levi Enzo, *El agua según la ciencia*, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2001.

³ Irma Richter, *Leonardo Da Vinci Notebooks*, Nueva York, Oxford University Press, 2008.

Actualmente, la calidad del agua presente en los acuíferos varía debido a las composiciones de las formaciones rocosas en zonas geográficas con diferentes tipos de clima, también a los recorridos subterráneos del agua y a la precipitación imperante en el entorno. El agua subterránea, cuando no es afectada por impactos antropogénicos, es usualmente considerada de excelente calidad desde sus características físicas, químicas y biológicas. Sin embargo, los acuíferos pueden contener concentraciones naturales de metales pesados, como hierro, manganeso, arsénico, boro, flúor, plomo, entre otros, que la hacen inaceptable para ser agua potable. La calidad en los acuíferos resulta del filtrado natural que sufre el agua de lluvia y de los ríos mientras se percola a través del suelo hacia los mantos acuíferos, donde queda protegida, en mayor o menor medida de la contaminación antropogénica, en contraposición a la que se ve expuesta el agua superficial.

El aprovechamiento más eficaz de un acuífero, para utilizar al máximo sus recursos y no incurrir en un déficit (sobreexplotación), es el de extraer anualmente una cantidad de agua igual o inferior a los volúmenes de agua que externamente ingresan (generalmente es la precipitación). El aprovechamiento intensivo o sobreexplotación consiste en extraer más agua de la que entra en un sistema, lo que supone un consumo de las reservas que se refleja en el descenso del nivel del agua (freático o piezométrico). En general, cuando un acuífero es sometido a un aprovechamiento intensivo, se tienen los siguientes efectos: el primero, el descenso del nivel freático y profundización de los niveles de bombeo, provocando el cambio de los patrones originales de flujo, así como el incremento de los consumos de energía eléctrica en los equipos de bombeo; el segundo, la reducción del caudal de manantiales y la desaparición de algunos; el tercero, hundimientos y agrietamientos del suelo con daños en las edificaciones y viviendas locales. Además, la calidad natural del agua subterránea puede ser alterada como consecuencia de este aprovechamiento intensivo, de tal manera que conforme se bajan los niveles piezométricos, aumentan las concentraciones de metales pesados. La calidad del agua subterránea puede sufrir alteraciones también por diversas formas de contaminación antropogénica; por ejemplo, las lixiviaciones de los basureros y las descargas de aguas residuales no tratadas de industrias, centros de población o incluso de zonas de cultivo.

Si consideramos al acuífero como un sistema regulador de entradas y salidas de agua, una disminución de las re-

servas hará que disminuyan las garantías de suministro ante situaciones extraordinarias, como una sequía prolongada, y puede favorecer además la intrusión de aguas de calidad no deseable. Las consecuencias más directas de la sobreexplotación son: a) el agotamiento de las reservas de aguas fósiles, b) el descenso no estabilizado de los niveles de bombeo, c) la desaparición y reducción de los caudales de manantiales, y d) el deterioro de la calidad química de las aguas subterráneas. Esta última consecuencia se debe a la disolución en menor grado de las aguas fósiles almacenadas en el acuífero con las nuevas de la recarga anual, lo que favorece la concentración de sales. Otro factor que puede contribuir al deterioro de la calidad de las aguas subterráneas tiene que ver con la recarga por aguas contaminadas de los ríos a los acuíferos, ya que los ríos pasan de ser efluentes a ser influentes. Asimismo, los acuíferos pueden ser enturbiados por las aguas contaminadas por lixiviación de los desechos industriales y municipales situados sobre el acuífero.⁴

El acuífero Guadalupe Bañuelos

El acuífero Guadalupe Bañuelos se localiza en el estado de Zacatecas a 19 km al sur de la ciudad capital de Zacatecas, ubicado entre las coordenadas geográficas 22° 30' a 22° 50' de latitud norte y 102° 25' a 102° 35' de longitud oeste, abarcando unos 371 km² de superficie que traslapa con porciones de los municipios de Guadalupe, Genaro Codina y Ojocaliente (véase figura 1). Pertenece al Distrito Agropecuario de Temporal número 1, controlado por la unidad número 3, con residencia en Guadalupe, Zacatecas. En la mayor parte de la superficie de estudio se practica la agricultura de secano, además de unas 100 ha bajo riego en las zonas agrícolas de La Zacatecana y Bañuelos.⁵

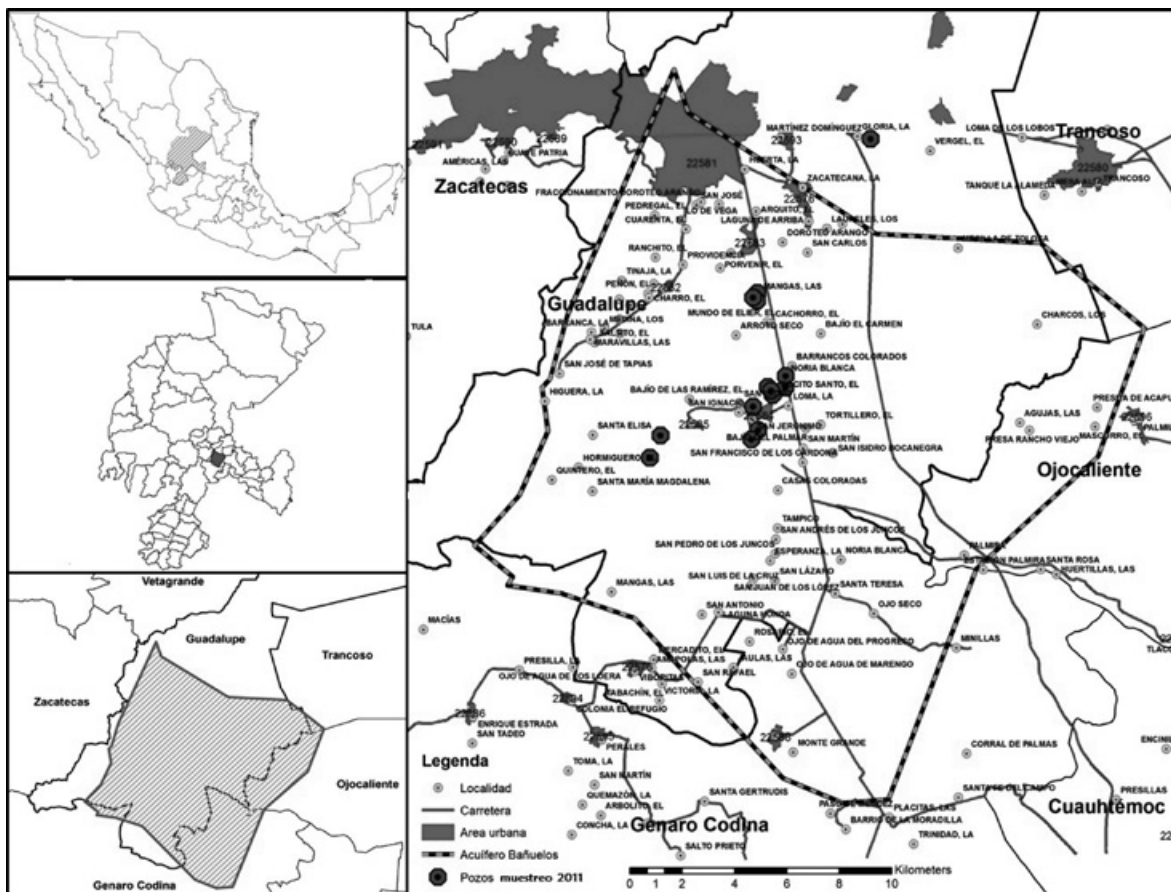
El clima imperante es semiseco, templado y con lluvias en verano. La precipitación pluvial media anual es del orden de 450 mm; la temperatura media anual es de 16 °C y la evaporación potencial media anual es 2200 mm,⁶ lo que implica la existencia de pocos arroyos, que son intermitentes y de bajo caudal, por lo que el agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento de los centros de población y de las actividades económicas agrícolas e industriales.

⁴ Francisco Aguilar Ortega, *Evolución y estado actual del aprovechamiento del agua subterránea en el valle de Río Verde, San Luis Potosí* (tesis doctoral), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2010.

⁵ Comisión Nacional del Agua (Conagua), «Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea Acuífero (3227) Guadalupe Bañuelos Estado de Zacatecas», *Diario Oficial de la Federación*, 28 de agosto de 2009.

⁶ *Idem*.

Figura 1. Acuífero Guadalupe-Bañuelos, Zacatecas, México. Ubicación, límites y pozos



Fuente: Adaptado de Conagua (2009).

Existen básicamente tres tipos de usuarios que extraen agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, dos de uso público urbano y rural y el otro agrícola. El primero corresponde a la Junta Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado de Zacatecas (JIAPAZ), la cual extrae el agua subterránea mediante pozos profundos para el abastecimiento de la Zona Conurbana Zacatecas Guadalupe; el segundo corresponde a Juntas o Comités de Agua, en las comunidades de Bañuelos, San Ramón, Perales, Viboritas, Las Mangas, Las Cumbres, entre otras, para el abastecimiento de sus respectivas comunidades; el tercero se refiere a los agricultores de escala pequeña, cuyos sistemas de riego exhiben baja o nula tecnificación y, por lo tanto, de escasa producción y rentabilidad. Con todo, hay concesiones para extraer anualmente 12.4 millones de metros cúbicos de agua ($Mm^3/año$) del acuífero Guadalupe Bañuelos,

aunque su recarga natural es de sólo $10.7 Mm^3/año$, según la Comisión Nacional de Agua (Conagua), lo que se traduce en un déficit de $2 Mm^3/año$.⁷ 55.6% del agua extraída del acuífero Guadalupe Bañuelos es para el sector público urbano, 42.6% se canaliza al sector agrícola, 1.8% se registra en la categoría de «otro», que incluye los sectores doméstico, pecuario y agroindustrial.⁸

El aprovechamiento del acuífero Guadalupe Bañuelos

Desde 1546, la actual Zona Conurbana Zacatecas Guadalupe se encontraba en un área eminentemente minera denominada Distrito Minero Zacatecas. Originalmente los minerales extraídos, plata nativa y minerales oxidados de alta ley fueron tratados directamente por un proceso de fusión, limitando la productividad de las minas. Posteriormente se introdujo el proceso de amalgamación, lo que permitió el beneficio de minerales de plata con mayores contenidos y otra gran variedad de minerales argentíferos. Dado

⁷ *Idem.*

⁸ Conagua, *Registro de usuarios*, Departamento de aguas subterráneas de la dirección local Zacatecas, Guadalupe, 2012.

lo rudimentario de estos procesos, los residuos (lamas y gangas) arrastraron cantidades de plata, mercurio y pequeñas porciones de oro libre y otros metales como plomo, zinc y cobre.⁹

El Distrito Minero Zacatecas contaba con tres principales grupos de vetas: Vetagrande, San Bernabé y La Cantera. Además, se contaban 48 haciendas de beneficio, situadas en la serranía de Zacatecas. Durante 360 años estas haciendas tiraron todos sus desechos al medio ambiente, de tal manera que fueron arrastrados hacia los valles, formando depósitos muy importantes. El arroyo La Plata era el principal conducto de descarga del Distrito Zacatecas, ya que cruzaba la mayoría de las haciendas en otro tiempo instaladas hasta llegar a la presa El Pedernalillo, también conocida como La Zacatecana, que fue la trampa donde se concentraba la mayoría de los residuos producto de la actividad minera. Para la presa El Pedernalillo estos desechos se estiman en un aproximado de 5 millones de toneladas de materia mineralizada con cloruro de plata, mercurio y otros minerales. Por lo tanto, siempre ha existido la posibilidad de contaminación del acuífero Guadalupe Bañuelos por metales pesados.¹⁰

En 1928 existían en la zona del acuífero Guadalupe Bañuelos numerosos pozos a cielo abierto alimentados por abundantes aguas freáticas. Destacaba el pozo número 22, el cual fue construido para alimentar a las máquinas de vapor del Ferrocarril Central Mexicano y para el uso doméstico de la estación. Este pozo construido a principios de siglo alcanzó originalmente 200 m de profundidad, con la particularidad de que el nivel del agua freática se fue abatiendo a medida que se profundizaba la perforación, debido a esto se procedió a construir cuatro galerías filtrantes en forma radial de 25 m de longitud cada una, con el fin de obtener volúmenes de agua adicionales a los que la noria por sí misma era capaz de aportar funcionando al mismo tiempo como cisterna o aljibe que recibía las aportaciones de las galerías. Dicho pozo se equipó para abastecer a la ciudad de Guadalupe y actualmente se encuentra en funcionamiento.¹¹

Alrededor de 1950 se inicia el aprovechamiento masivo de los acuíferos y se incrementa la extracción princi-

palmente mediante pozos profundos de gran caudal.¹² En el acuífero Guadalupe Bañuelos los pozos a cielo abierto eran excavados a pico y pala hasta profundidades máximas de 40 m, suministraban a pequeños regadíos y viviendas, mientras los pozos perforados con profundidades de hasta 200 m suministraban a poblaciones rurales y a la ciudad de Guadalupe. De acuerdo a la respectiva norma de salud en aquel entonces, el agua se consideraba como potable.¹³

Hacia 1978 continúa el incremento en el número de pozos profundos de gran caudal y disminuye el número de pozos a cielo abierto, mientras que las autoridades en materia de agua caracterizan los equipos de bombeo, las profundidades de extracción, la superficie bajo riego y las poblaciones abastecidas, además de llevar a cabo estudios sobre la calidad del agua. Los resultados fueron 22 pozos profundos, 35 pozos a cielo abierto (norias) y dos manantiales. Del total de los pozos, 19 pozos a cielo abierto correspondían al riego, seis pozos profundos al abastecimiento de agua potable y 20 pozos a cielo abierto para uso particular (doméstico, riego y pecuario).¹⁴ Además, se registran los primeros indicios de «contaminación natural» en un pozo por flúor (F^-), con un valor de 1.74 mg/L, valor que sobrepasa a la norma de calidad para el consumo humano que establece un nivel máximo de 1.5 mg/L.¹⁵

En 1980, los pozos a cielo abierto disminuyen drásticamente su mermado caudal. Predominan los pozos profundos y se reafirma la presencia de contaminación por flúor. Además, algunos pozos presentan valores por encima de la norma de salud vigente en los parámetros de sólidos disueltos totales (STD), calcio (Ca^+) y magnesio (Mg^+), de tal modo que se ratifica la existencia de pozos con aguas impropias para el consumo humano.¹⁶

En 2011, se realiza la caracterización de las aguas contenidas en pozos a cielo abierto y profundos por maestros y alumnos de servicio social del Laboratorio de Química de Superficies y Análisis Industriales de la Unidad Académica de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). En este estudio las muestras de agua mostraron valores en los parámetros de hierro (Fe^+), plomo (Pb^+), cadmio (Cd^+) y mercurio (Hg^+) fuera de los límites permisibles

⁹Frédérique Langue, «Trabajadores y formas de trabajo en las minas zacatecanas del siglo XVIII», *Historia Mexicana*, vol. 40, núm. 3, 1991, pp. 463-506; Peter John Bakewell, *Minería y sociedad en el México colonial Zacatecas (1546-1700)*, México, Fondo de Cultura Económica, 1984.

¹⁰ *Idem*.

¹¹ Conagua, «Actualización de la disponibilidad media anual...»; Irma Richter, *op. cit.*

¹² Francisco Aguilar Ortega, *op. cit.*

¹³ Proyesco SA, *Estudio geohidrológico para determinar fuentes de abastecimiento en la zona de Perales, Bañuelos, Zacatecas*, 1980.

¹⁴ Francisco Aguilar Ortega, *op. cit.*

¹⁵ Proyesco SA, *op. cit.*

¹⁶ Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), *Estudio geohidrológico de la zona Guadalupe, Bañuelos, Zacatecas*, SARH, 1980.



de la norma de salud vigente, principalmente en las comunidades de Casas Coloradas, Las Mangas y San Jerónimo (véase figura 1).¹⁷

Hacia 2012, en el acuífero Guadalupe Bañuelos se realiza un estudio en nueve pozos profundos, tres pozos a cielo abierto (norias) y un manantial. Aunque el agua se clasifica como potable o propia para el consumo humano, se revela la existencia de un pozo profundo con valores altos en los índices de flúor y arsénico, sin evidenciar la localización de los pozos muestreados.¹⁸

Conclusiones

El aprovechamiento del acuífero Guadalupe Bañuelos inicia ante necesidades y requerimientos pequeños, como era el abastecimiento a poblaciones rurales y pequeños regadíos, suministrados principalmente mediante pozos a cielo abierto, de bajo caudal y excavados a poca profundidad. Poco después, para resolver el suministro del incremento poblacional de la Zona Conurbana Zacatecas Guadalupe y debido a la cercanía del acuífero con ésta, se inicia la perforación de pozos profundos de gran caudal, para

abastecer las nuevas zonas de crecimiento. Al iniciarse el aprovechamiento intensivo se presentan los primeros síntomas de sobreexplotación: a) la profundización de los niveles de bombeo, provocando mayores consumos de energía eléctrica, lo cual genera baja rentabilidad en los cultivos y en algunos casos el abandono de la actividad agrícola; y b) la «contaminación natural» del acuífero, exacerbándose con el tiempo hasta llegar a límites impropios para el consumo humano. Cabe mencionar que si bien la zona de «inadecuada» calidad del agua se encuentra bien establecida, lo cierto es que se deben desarrollar acciones encaminadas a evaluar con mayor precisión las características de la calidad del agua extraída de este acuífero, para que en determinada condición reubicar o reorientar el aprovechamiento de ciertos pozos. Es importante mencionar que la «calidad» del acuífero no sólo debe ser atendida por las instituciones gubernamentales; las condiciones de transparencia en el manejo de la información promueven la participación de la ciudadanía en su análisis así como en las soluciones de los posibles problemas de contaminación que podrían incrementarse bajo este aprovechamiento intensivo, siendo la ciudadanía la que en mayor parte consume el agua que se extrae de este acuífero y que, en caso de existir graves problemas, es la que a largo plazo sufriría de las consecuencias de una deficiente gestión del agua. 🐦

¹⁷ V. Saucedo y R. Pallares, *Contribución al estudio de la calidad del agua subterránea para uso y consumo humano en el Valle Bañuelos-San Ramón Guadalupe Zacatecas* (tesis de licenciatura), Universidad Autónoma de Zacatecas.

¹⁸ Diego Alonso Padilla Reyes, Ernesto Patricio Núñez Peña, Felipe de Jesús Escalona Alcázar y Jorge Bluhm Gutiérrez, «Calidad del agua del acuífero Guadalupe Bañuelos, Estado de Zacatecas, México», *GEOS*, vol. 32, núm. 2, 2012, pp. 367-84.